

## 2

## Produção de Sólidos e Sistemas de Contenção

### 2.1.

#### Considerações iniciais

A extração em formações pouco consolidadas pode resultar na produção de sólidos junto com os hidrocarbonetos. A Produção de sólidos é indesejável, pois este é abrasivo para os componentes dentro do poço, para tubulações, bombas, válvulas, e que posteriormente deve ser removido do fluido na superfície. Este pode parcialmente ou completamente entupir o poço, assim sendo necessário um trabalho muito caro. Em adição, os sólidos produzidos a partir da formação podem levar ao desenvolvimento de cavidades resultando no colapso do poço (Chambers et al,1995).

Os reservatórios de arenitos pouco consolidados se apresentam como os mais susceptíveis à produção de sólidos, também pode comprometer rochas consolidadas e calcárias, sendo fatores importantes para a ocorrência deste processo, o estado de tensões e as condições de fluxo nas vizinhanças do poço.

Técnicas de controle de sólidos são utilizadas para minimizar a produção de sólidos. Dentre elas podemos citar o *Stand Alone*, *Telas* com *Gravel Pack*, e outros que são projetados de acordo com as características e condições da formação, fundamentalmente.

## 2.2. Produção de Sólidos

### 2.2.1. Problemas Relacionados à Produção de Sólidos

Diversos problemas estão relacionados com a produção de sólidos, sendo um dos mais graves a longo prazo: (i) a redução da produtividade pelo aumento do diferencial de pressão necessário para a produção, que vai reduzindo a vida útil do poço, (ii) a erosão e acumulação de sólidos, que vai desde o fundo do poço até os equipamentos de superfície, e (iii) o colapso da formação. A Figura 2.1 mostra um esquema do transporte dos sólidos produzidos desde a formação até a superfície.

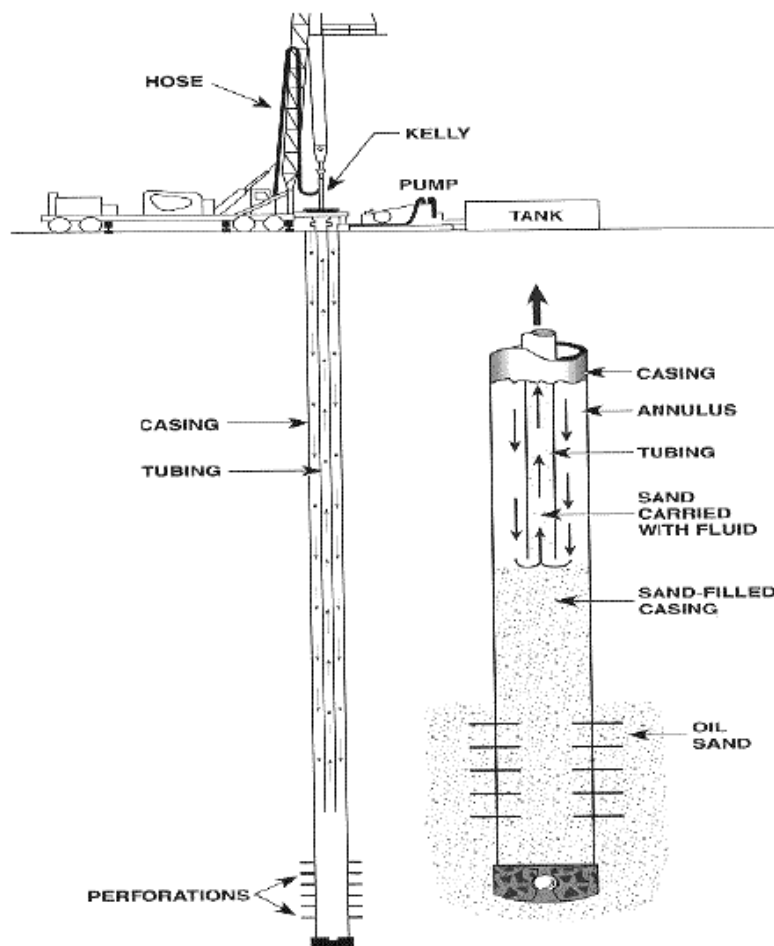


Figura 2.1 – Esquema do transporte dos sólidos (Mendoza, 2003).

No caso de se ter uma produção elevada de sólidos, essa quantidade produzida é capaz de colapsar localmente a formação e criar cavidades que continuamente aumentarão de tamanho e que, eventualmente se tornam instáveis induzindo ao colapso do poço e corte da produção de petróleo.

Se a velocidade da corrente de produção não for grande o suficiente para transportar os sólidos, estes serão depositados no fundo do poço podendo obstruir parcialmente as cavidades perfuradas ou formar bloqueios (*bridges*) o que pode implicar seu abandono. Em outros casos será necessária uma intervenção no poço, fazendo a limpeza nesse intervalo. No caso de uma elevada produção de sólidos no interior do poço, a medida a ser tomada será o início de uma rotina de operações no poço.

Em poços com alta vazão, a velocidade de transporte dos sólidos carregados pode ocasionar a erosão dos equipamentos, que tem contato direto com o fluxo de produção, como mostra a Figura 2.2. Esses equipamentos danificados podem ser de superfície ou de fundo de poço. A substituição dos equipamentos se faz necessária nesse tipo de situação, onde, a níveis inaceitáveis, deve-se suspender a produção.



Figura 2.2 – Efeitos de erosão de *choke*, decorrentes da produção de sólidos (Da Silva, 2008).

### 2.2.2.

#### Mecanismos de Produção de Sólidos

Vários trabalhos publicados sobre a produção de sólidos coincidem em definir dois mecanismos básicos para o fenômeno: ruptura por tração e ruptura por cisalhamento; sendo a ocorrência desses mecanismos função da diferença entre a poropressão na formação e a pressão do fluido no interior do poço (*drawdown*), das forças de percolação e das propriedades do meio poroso (Mendoza, 2003).

#### 2.2.2.1

##### Ruptura por Cisalhamento

Esta ruptura é induzida pela ação conjunta das tensões *in-situ* que chegam a valores que ultrapassam a resistência à compressão da rocha e quando as pressões de *drawdown* são elevadas devidas às baixas pressões de produção do poço, estas condições levam à ruptura por cisalhamento na parede da cavidade, criando deformações ao redor da mesma, propagando um processo de produção de sólidos instável, que pode produzir quantidades catastróficas, caso essa zona se expanda.

#### 2.2.2.2

##### Ruptura por Tração

Esta ruptura é devida às forças de percolação que na corrente do fluxo geram tensões de tração promovendo o arrancamento das partículas do reservatório, sendo mais susceptíveis as formações pouco consolidadas.

Este tipo de instabilidade é mais freqüente em poços com altas taxas de produção que levam à desagregação dos sólidos e à perda de das interações mecânicas entre as partículas.

Morita *et al.* (1989) propuseram que o gradiente da poro pressão e da pressão de *drawdown* são parâmetros principais que governam a estabilidade das cavidades. Pode ser observado na Figura 2.3 que, para elevados valores de *drawdown* associados às tensões *in-situ*, predominam as rupturas por cisalhamento, ao passo que para um alto gradiente de poropressão próximo às cavidades, predominam as rupturas por tração. Por outro lado, para uma pressão de *drawdown* e gradiente de poropressão relativamente baixos, observa-se uma

região segura de operação do poço com relação à produção de sólidos (Mendoza, 2003).

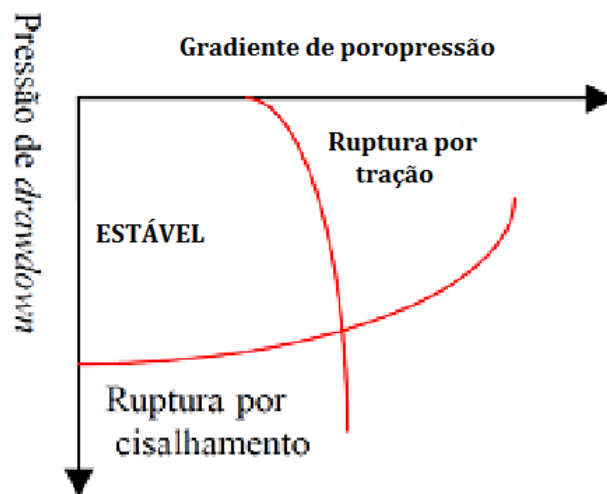


Figura 2.3 – Diagrama de estabilidade para uma cavidade Morita (1989).

### 2.3. Métodos de Controle de Sólidos

Os métodos de Controle de Sólidos fundamentam-se em três princípios:

- Controle da produção;
- Reforço, ou melhor condicionamento da formação;
- Restrição de sólidos (ou Método mecânico).

A exclusão de sólidos por contenção mecânica tem sido o método rotineiramente utilizado pela indústria para controlar a produção de areia em campos *off shore*, sendo considerada umas das soluções mais seguras e eficientes para viabilizar a produção de hidrocarbonetos em arenitos friáveis, permitindo a produção do poço em vazões econômicas sem os inconvenientes associados à produção de areia (Malbrel, 1999).

Deve-se considerar que controlar a produção de sólidos não significa a exclusão total das partículas solidas em prejuízo da vazão total de produção.

Segundo Benett (2000) com uma adequada metodologia, pode ser determinado quando deve ser instalado o sistema de controle de areia, qual deve ser instalado e como deve ser instalado, no caso da completação de um poço horizontal aberto.

Devem ser reconhecidos fatores específicos que afetam “*quando*”: são as tensões *in situ*, o declínio da poropressão, expectativa de vida do poço, taxa de produção, tipo de poço e de hidrocarboneto, capacidade de suporte de areia, limitações ambientais e capacidade de intervenções, enquanto que a integração de todos estes fatores tem um impacto em toda a análise de risco.

Em adição à maioria dos fatores prévios, níveis críticos que afeta “*qual*”: são identificados como arquitetura do poço, propriedades petrofísicas, litológicas do reservatório, e equipamento. Parâmetros adicionais impactam “*como*”: são os fluidos de perfuração de reservatório, metodologias de deslocamento e limpeza, tipo de tela, execução operacional, administração de riscos, análises de torque e arraste e simulações de colocação do *gravel*.

### **2.3.1. Métodos Mecânicos**

Os métodos mecânicos, ou restrição ao fluxo de sólidos são baseados no princípio de retenção dos sólidos que formam pontes ou arcos através do embricamento de partículas que impedem a entrada de mais sólidos da formação para o poço (Machado, 2004). Os mesmos que são aplicados em poços revestidos ou aberto, verticais, direcionais ou horizontais. Na continuação serão vistos os tipos mais usados nos poços.

#### **2.3.1.1. Tubos Ranhurados**

Tubos ranhurados são tubos com aberturas que estão posicionadas alternadamente para evitar uma menor perda da resistência mecânica do tubo, como mostra a Figura 2.4. São utilizados para poços com baixas vazões, sendo inadequado para altas vazões, devido ao carregamento de grãos que pode originar

o entupimento das aberturas. O custo de instalação é baixo, e são os mais indicados para poços horizontais.

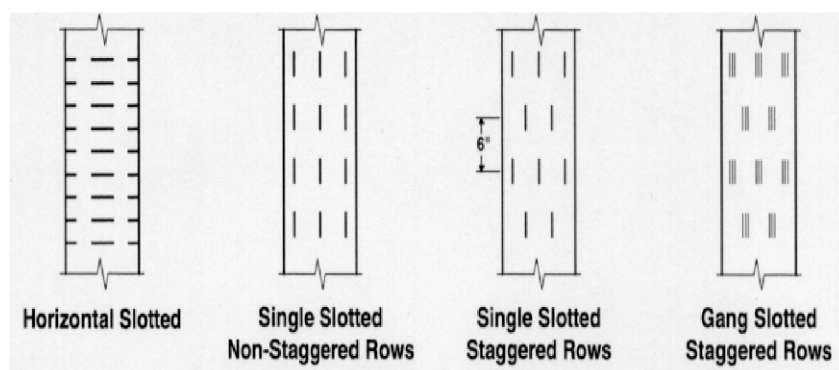


Figura 2.4 – Disposição de ranhuras no tubo (Borges, 2007)

### 2.3.1.2. Tubos Telados

Estes são classificados pelos componentes e as funções que desempenham no poço, sendo os seguintes:

**Tubo Telado Wire-wrapped**, composto basicamente de um tubo de base perfurada envolvido por uma camada de arame com espaçamento apropriado para reter a areia da formação, como mostra a Figura 2.5. Estes são indicados para completação de poços abertos de reservatórios homogêneos com granulometria bem graduada.

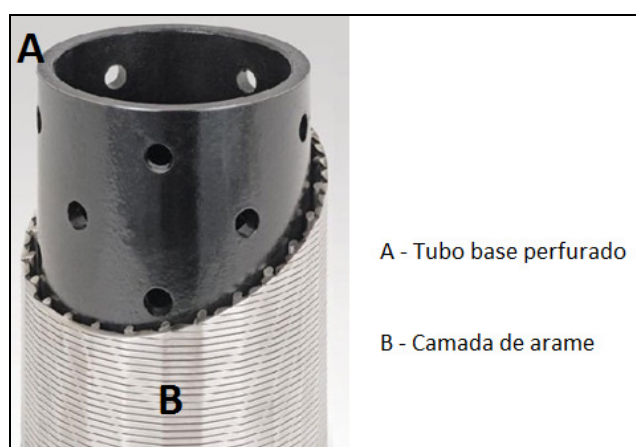


Figura 2.5 – Tubo Telado Wire-wrapped

**Tubo Telado Premium**, composto por camadas de telas com malha de diferentes aberturas, *shroud* (camada externa, de proteção para o meio filtrante), meio filtrante (três camadas, para captação de partículas, livre passagem e suporte) e tubo base (sustentação e rigidez do sistema). Como mostra a Figura 2.6, estas telas têm maior abertura ao fluxo e suas aplicações incluem poços com alta pressão, completação de poços abertos ou fechados, poços com raio de curvatura pequeno, *sidetracks* multilaterais e poços em reservatórios compactados.

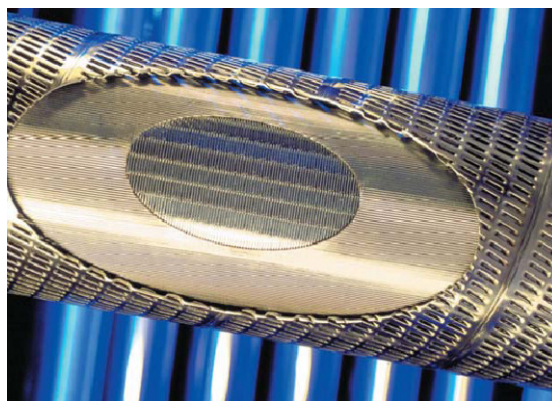


Figura 2.6 – Tubo Telado Premium.

**Tubo Telado Pré-empacotado**, composto por um módulo de *gravel pack* empacotado de granulometria selecionada que está alocada no espaço anular entre as duas camadas concêntricas de telas de arame, como mostra a Figura 2.7. Bastante utilizado em poços revestidos, sendo uma alternativa mais econômica que o *gravel pack*. Este apresenta a possibilidade de um maior tamponamento por finos. A Figura 2.8 mostra os detalhes da tela em seções.

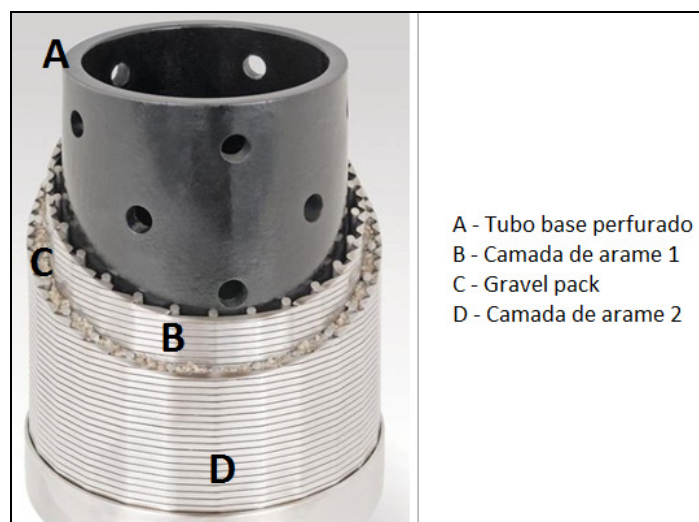


Figura 2.7 – Tubo Telado Pré-empacotado.

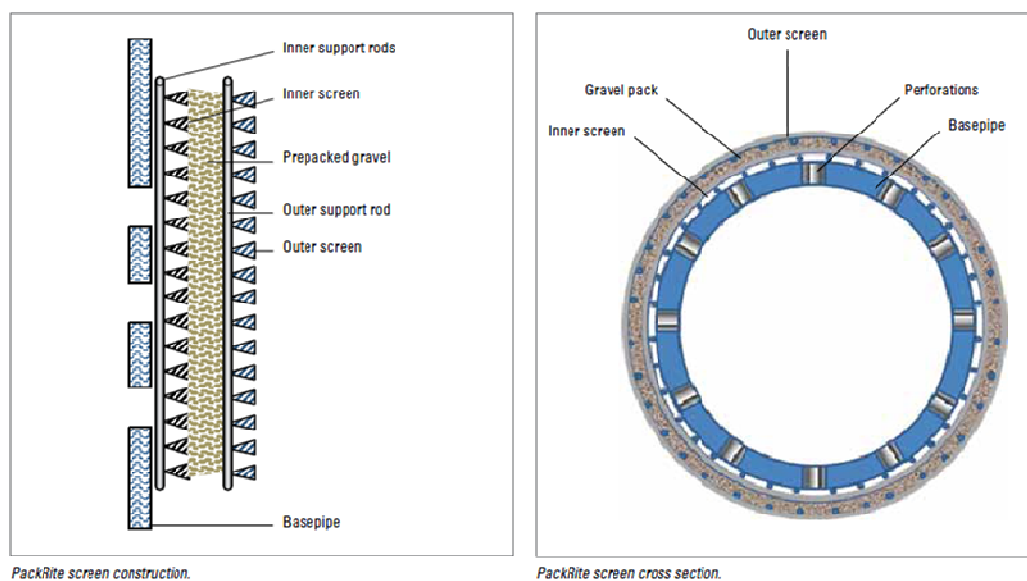


Figura 2.8 – Detalhes de seções do Tubo Telado Pré-empacotado.

**Telado Expansível**, na instalação é utilizado um cone de expansão no interior da tela que aumenta o diâmetro até ficar em contato com o contorno do poço, nesta forma favorece para um empacotamento dos grãos da rocha. Apresenta como vantagens um diâmetro final que é superior a outros métodos, dando como resultado uma melhora da produtividade do poço. A tela é de fácil instalação, e como desvantagem, os custos são consideravelmente altos e não se

teve bons resultados na aplicação nos campo do Brasil. A Figura 2.9 mostra uma parte expandida da tela.

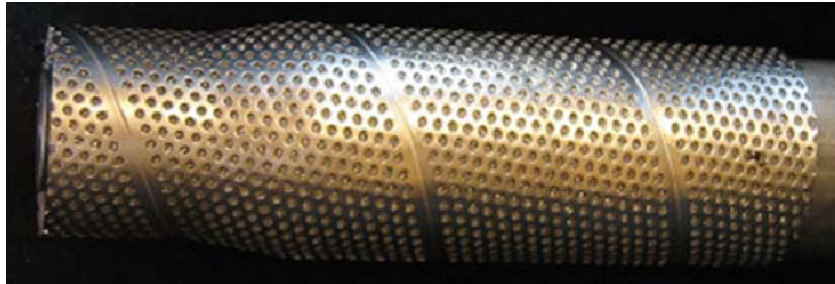


Figura 2.9 – Telado Expansível.

### 2.3.1.3. Gravel Pack

O *gravel pack* é um agente de retenção, podendo ser de cerâmica ou areia, de granulometria bem selecionada que forma um pacote compacto. O princípio é o arqueamento criado pelo *gravel*, que sustentará e formará um segundo arcabouço para os grãos da formação, sendo importante que seja o mais permeável possível. A Figura 2.10 mostra o esquema de um *gravel pack* em poço revestido. (A) tubo telado, (B) *gravel*, (C) *casing*, (D) cimento, (E) formação.

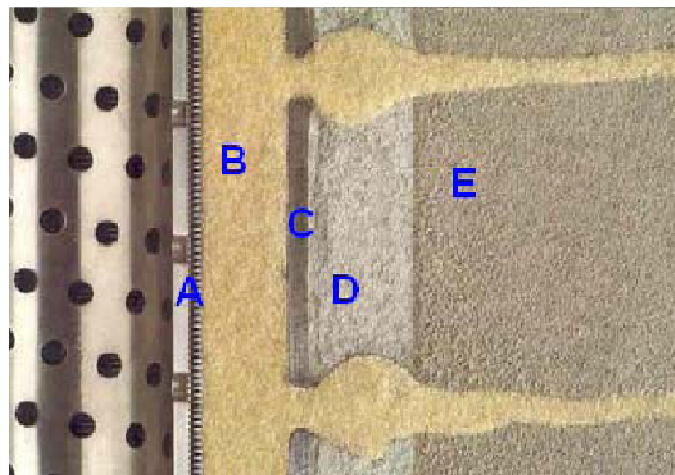


Figura 2.10 – *Gravel Pack* em poço revestido.

Para o preenchimento do *gravel pack*, no caso do espaço anular entre um tubo telado e a formação ou revestimento, é bombeada uma onda  $\alpha$  que depositará

o *gravel* na parte inferior do anular, enquanto a parte superior é preenchida com a onda  $\beta$ , como mostra a Figura 2.11.

### Gravel Pack.

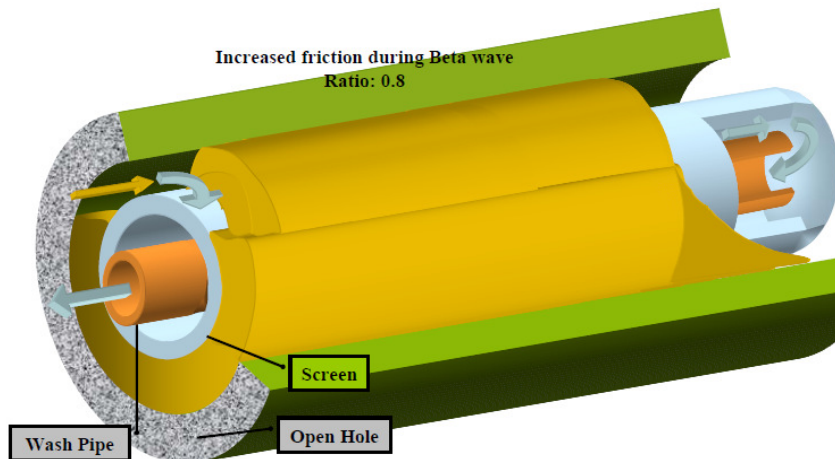


Figura 2.11 – Instalação do *Gravel Pack* do espaço anular.

## 2.4. Completação de Poços

No término da perfuração, o poço é equipado para uma operação econômica e seguro, de acordo com a estratégia de construção prevista no projeto. As seguintes são as completações utilizadas.

### 2.4.1 Completação Gravel Packing

Método mais utilizado em poços direcionais e horizontais, sendo este sistema semelhante a um filtro de areia instalado em um poço.

Segundo Tiffin (1998) o *gravel packing* apresenta um bom desempenho na contenção de sólidos de formação quando utilizado em arenitos com distribuição granulométrica uniforme.

Basicamente o *gravel* tem a função de reter a areia da formação e a tela a função de reter o *gravel*. Sendo o princípio deste método, que o *gravel* atuará como segundo arcabouço, altamente permeável, evitando a movimentação dos grãos da formação e sendo o fluxo ao longo de 360°, eliminando a elevada perda

de carga associada ao fluxo linear garantindo uma maior produção quando comparados com poços revestidos com túneis canhoneados.

Segundo Bianco (2003), as principais desvantagens na utilização do *gravel packing* são:

- A grande sensibilidade à obstrução por finos, levando a perdas consideráveis de vazão durante a vida produtiva do poço (principalmente em arenitos não uniformes);
- A distribuição heterogênea de fluxo ao longo do trecho horizontal;
- A impossibilidade de retirada do conjunto telado no caso de falha durante a vida produtiva do poço;
- A impossibilidade de isolamento de intervalos devido ao aumento da *RAO* (Razão Água Óleo) e *RG*O (Razão Gás Óleo) ao longo da vida produtiva do poço.

#### **2.4.2 Completação Frac Pack**

Método que combina as técnicas de *gravel* e fraturamento hidráulico, indicado para reservatórios com altas taxas de produção de hidrocarbonetos, cuja convergência do fluxo radial pode se tornar um agravante para a produção de sólidos. O método somente pode ser utilizado em poços revestidos e cimentados e consiste na criação de uma pequena fratura condutora que terá a função de um canal entre a formação e o poço, transformando o fluxo radial em fluxo linear, e por consequência reduzindo o gradiente de pressão (Silvestre, 2004).

A aplicação bem sucedida deste método não deve apenas conter o fluxo de sólidos, mas deve estabelecer uma fratura larga que permanece aberta devido à disposição de *gravel* nas regiões vizinhas ao poço (Edwards, 1999).

### **2.4.3 Completação Stand Alone**

Completação bastante utilizada nos primeiros poços horizontais, consistindo na instalação de tubos ranhurados ou telas de contenção. Este sistema é eficaz se for instalado em formações de granulometria homogênea e com pouca quantidade de finos, do contrário as partículas mais finas podem causar a redução da permeabilidade do sistema e por consequência redução da produtividade do poço (Machado, 2004).

Logo de instalado o sistema com o início da produção espera-se o colapso da formação sobre o conjunto telado, preenchendo o espaço anular com sólidos produzidos. Bennet (2000) recomenda a utilização deste tipo de completação inferior em poços onde o colapso da formação geraria um pacote com distribuição granulométrica uniforme, minimizando os riscos de erosão do conjunto telado.